10Ш

УДК 63.04

А.И. Шевченко, В.А. Ященко
Институт проблем искусственного интеллекта МОН Украины и НАН Украины,
г. Донецк, Украина
Институт проблем математических машин и систем НАН Украины, г. Киев
info@iai.donetsk.ua, Vitaliy.Yashchenko@gmail.com

От искусственного интеллекта к искусственной личности

В статье рассматриваются некоторые вопросы реализации искусственной личности на базе нового типа нейронных сетей – растущих нейроподобных сетей. На примере распознавания изображений лиц людей показана возможность разработки искусственной личности, способной обучаться, приобретать информацию, анализировать и использовать ее.

Введение

Анализ проблематики исследований в области искусственного интеллекта показывает, что в настоящее время, с одной стороны, идет интенсивная дифференциация ее предметных областей и, с другой стороны, происходит своеобразная интеграция исследований в рамках поиска возможностей построения общей теории. Интеграция исследований диктуется необходимостью объединения всего комплекса исследований в области искусственного интеллекта в единое целое на основе общей универсальной концепции или идеи, восходящей к своему функциональному прототипу: думающей (мыслящей) и действующей (физически) личности – человеку.

Созданная универсальная концепция должна послужить в качестве творческой идеи, которая дает возможность по-новому смотреть и интерпретировать окружающий мир, порождая новые искусственные объекты, системы и процессы, отражая новые креатические возможности естественного интеллекта человека [1].

Целью данной работы является рассмотрение некоторых вопросов реализации искусственной личности на базе нового типа нейронных сетей – растущих нейроподобных сетей.

Искусственная личность

Для обеспечения развития познавательного процесса в замкнутых системах необходимо выйти за рамки системы сложившихся понятий и конструктивных элементов. Основным требованием, которое можно было бы предъявить конструкту, выражающему этот метавзгляд, должна быть его «естественная искусственность» и его «искусственная естественность» [2], полнота взгляда и взаимодействия с реальностью.

Особую сторону концептуального объекта составляет уровень его возможностей реализовывать результаты своей интеллектуальной деятельности. Речь идет о том, разделены ли в конструкте умственные (мыслительные) и физические (двигательные) функции. Другими словами, достаточно ли он определен в смысле теста А.Тьюринга

для ответа на вопрос о его способности к мышлению, или ему еще требуется тест о его достаточной физической (двигательной) *роботоспособности*. По отношению к концептуальному конструкту естественно поставить вопрос о его антропоморфности. С одной стороны, он должен быть антропоморфичен, как идеал, демонстрирующий неограниченность совершенствования создаваемых человеком интеллектуальных искусственных объектов законами природы. С другой стороны, он не должен быть антропоморфичен как реальный объект с ограниченными возможностями в условиях достигнутого к настоящему времени уровня развития человеческой цивилизации [3], [4].

По-видимому, истина должна быть где-то посредине, оптимально отражая конструктивные и познавательные возможности человека-творца, работающего в конкретных материальных и духовных условиях природы и общества.

Таким образом, наиболее приемлемым видом концептуального конструкта, в наибольшей мере разрешающего проблему интеллекта, является конструкт, обладающий чувствительными сенсорами восприятия, чувствительными органами манипулирования и движения, системой и метасистемой управления, т.е. образование, наиболее близкое к современному человеку разумному (homo sapiens). Такой конструкт получил название «искусственной личности».

Искусственная личность есть идеальный конструкт, способный к поглощению всего многообразия процессов преобразования информации, антропоморфно отображающий деятельность своего прототипа – современного человека разумного [2].

Производная искусственной личности по умственным возможностям дает концепт интеллекта, а производная по физическим возможностям – денотат интеллекта.

Если конструировать искусственную личность как реальную машину, способную преобразовывать не только информацию, но и выполнять вещественные операции в окружающем мире, то она может быть реализована как робот с высокоразвитым интеллектом, имитирующий биологическую, живую машину – человека. В этом случае конструкт может быть назван «антропоморфной искусственной личностью» с соответствующими естественными требованиями к нему: наличие сенсорных органов, аппарата движения и опоры, наличие развитого аппарата переработки информации, естественности движений и поведения.

Если же конструировать искусственную личность как виртуальную машину, способную перерабатывать только информацию, то в этом случае конструкт может быть назван «виртуальной искусственной личностью-роботом». В отличие от антропоморфной искусственной личности, виртуальная все свои органы и элементы только имитирует в форме изображений, однако процессы переработки информации по их результативности вполне реальны и правдоподобны [1].

Таким образом, машина может быть интеллектуальной только в случае, если будет наделена основными параметрами и системами, подобными системам человека.

Функциональные системы и подсистемы мозга человека

В связи с этим обратимся к работам физиологов. П.К. Анохин, А.Р. Лурия, Е.Н. Соколов и др. с позиции системной организации функций в деятельности мозга выделяют различные функциональные системы и подсистемы. Классический вариант интегративной деятельности мозга может быть представлен в виде взаимодействия трех основных функциональных блоков: 1) блок приема и переработки сенсорной информации – сенсорные системы (анализаторы); 2) блок модуляции, активации нер-

вной системы – модулирующие системы (лимбико-ретикулярные системы) мозга; 3) блок программирования, запуска и контроля поведенческих актов – моторные системы (двигательный анализатор).

Первый функциональный блок составляют анализаторы, или сенсорные системы. Анализаторы выполняют функцию приема и переработки сигналов внешней и внутренней среды организма. Анализаторы – это многоуровневая система с иерархическим принципом ее конструкции. Основанием анализатора служит рецепторная поверхность, а вершиной – проекционные зоны коры. Каждый уровень этой конструкции представляет собой совокупность нервных клеток, аксоны которых идут на следующий уровень (исключение составляет верхний уровень, аксоны которого выходят за пределы данного анализатора). На всех уровнях анализатора сохраняется принцип топической проекции рецепторов. Принцип многократной рецепто-топической проекции способствует осуществлению множественной и параллельной переработки (анализу и синтезу) рецепторных потенциалов («узоров возбуждений»), возникающих под действием раздражителей.

Блок модулирующих систем мозга регулирует тонус коры и подкорковых образований, оптимизирует уровень бодрствования в отношении выполняемой деятельности и обуславливает адекватный выбор поведения в соответствии с актуализированной потребностью. Аппаратом, выполняющим роль регулятора уровня бодрствования, а также осуществляющим избирательную модуляцию и актуализацию приоритета той или иной функции, является модулирующая система мозга. Первым источником активации является внутренняя активность организма, или потребности. Второй источник активации связан с воздействием раздражителей внешней среды.

Двигательный анализатор. Двигательные области коры головного мозга стоят на выходе интегрирующей и координирующей системы мозга и выполняют функцию запуска и контроля двигательной деятельности, реализации поведенческих актов. Восприятие, адекватное воздействие, надежное распознавание и высокая способность к дифференцировке раздражителей являются необходимой предпосылкой для деятельности двигательных систем интегративно-пусковых аппаратов [5, с. 399].

Эти функциональные системы мозга обеспечивают одно из самых интересных свойств человеческого мозга – способность отвечать на бесконечное множество состояний внешней среды конечным числом реакций. Вероятно, именно это свойство позволило человеку достигнуть высшей формы существования живой материи, выражающейся в способности к мышлению, к активному отражению объективного мира в виде образов, понятий, суждений и пр. Поэтому изучение физиологических свойств мозга в первую очередь ставит проблему восприятия, анализа и распознавания визуальной информации (образов).

Анализ функциональных систем мозга человека и принципов восприятия человеком окружающего мира, а также знакомство с достижениями биологии и психологии в этой области сформировал у нас ряд предположений о механизмах реализации возможностей человека познавать окружающий мир, в частности узнавать с большой степенью вероятности другого человека, лицо которого лишь на мгновение показалось в толпе ему подобных.

Основываясь на этих предположениях, был разработан комплекс программ, вдохнувший интеллект в бездумную машину. В результате мы получили виртуальную искусственную личность-робот, которая обучается распознаванию человека, «увидев» изображение его лица посредством цифровой видеокамеры.

Виртуальная искусственная личность-робот «VITROM»

В основу разработки робота положен новый класс нейронных сетей – многомерные рецепторно-эффекторные нейроподобные растущие сети, которые созданы в рамках бионического подхода на основе интеграции технологий обработки информации в семантических и нейронных сетях.

Класс нейроподобных растущих сетей состоит из собственно нейроподобных растущих (рецепторных) сетей, многомерных нейроподобных растущих (рецепторных) сетей, рецепторно-эффекторных нейроподобных растущих сетей и многомерных рецепторно-эффекторных нейроподобных растущих сетей.

Использование технологии нейроподобных растущих сетей на всех основных этапах накопления информации об изображениях, а также их дальнейшей идентификации дает ряд преимуществ, связанных с использованием уникальных возможностей сети распараллеливать все вычисления, исключать всякое дублирование однотипных данных при классификации, производить практически неограниченное масштабирование вычислительных мощностей.

Многомерные рецепторно-эффекторные нейроподобные растущие сети

Топологическая структура многомерной рецепторно-эффекторной нейроподобной растущей сети (мрэн-РС) задается следующим образом.

$$S=(R, A_r, D_r, P_r, M_r, N_r, E, A_e, D_e, P_e, M_e, N_e);$$

$R \supset Rv, Rs, Rt; A_r \supset Av, As, At; D_r \supset Dv, Ds, Dt; P_r \supset Pv, Ps, Pt; M_r \supset Mv, Ms, Mt;$
$N_r \supset Nv, Ns, Nt; E \supset Er, Ed, Ed; A_e \supset Ar, Ad1, Ad2; D_e \supset Dr, Dd1, Dd2;$
$P_e \supset Pr, Pd1, Pd2; M_e \supset Mr, Md1, Md2; N_e \supset Nr, Nd1, Nd2;$

здесь ***Rv, Rs, Rt*** – конечное подмножество рецепторов, ***Av, As, At*** – конечное подмножество нейроподобных элементов, ***Dv, Ds, Dt*** – конечное подмножество дуг, ***Pv, Ps, Pt*** – конечное множество порогов возбуждения нейроподобных элементов рецепторной зоны, принадлежащих, например, визуальному, слуховому, тактильному информационным пространствам, ***Er, Ed1, Ed2*** – конечное подмножество эффекторов, ***Ar, Ad1, Ad2*** – конечное подмножество нейроподобных элементов, ***Dr, Dd1, Dd2*** – конечное подмножество дуг эффекторной зоны, ***Pr, Pd1, Pd2*** – конечное множество порогов возбуждения нейроподобных элементов эффекторной зоны, принадлежащих, например, речевому информационному пространству и пространству действий. ***Mv, Ms, Mt; Mr, Md1, Md2*** – конечное подмножество весовых коэффициентов дуг или нумерации дуг (для сетей с упорядоченным набором признаков), заходящих на нейроподобные элементы рецепторной и эффекторной зон. N_r, N_e – конечное множество переменных коэффициентов связности рецепторной и эффекторной зон [6-8].

В сложных структурах нейроподобных-РС взаимосвязи между элементами сети выражаются на языке отношений. Для этого применяется формализованный аппарат теории отношений.

В теории многосвязных нейроподобных растущих сетей рассматриваются бинарные отношения, для которых задается множество нейроподобных элементов $\{\vec{a}_1, \vec{a}_2, ..., \vec{a}_i\}$, где $\vec{a}_i$ – булевый вектор конечной размерности, $\{\vec{a}_i, \vec{a}_k\}$ – множество пар из этих элементов. Пара $\vec{a}_i, \vec{a}_k$ принадлежит подмножеству ***R*** только тогда и тогда, когда вектор $\vec{a}_i$ находится в отношении ***R*** с элементом $\vec{a}_k$.

Рассмотрим базовые свойства пар векторов, основанные на операции конъюнкции, применяемой к компонентам векторов, т.е. $\vec{a}_i \times \vec{a}_k = (a_{(1)} \& b_{(1)}, a_{(2)} \& b_{(2)}, \ldots, a_{(n)} \& b_{(n)})$, здесь & – конъюнкция, × – операция «векторной» конъюнкции.

Базовые конъюнктивные свойства пар векторов, например, $\vec{a}$, $\vec{c}$ следующие :

1. $\vec{a} \times \vec{c} = \vec{a}$, 2. $\vec{a} \times \vec{c} \neq \vec{a}$,
3. $\vec{a} \times \vec{c} = \vec{c}$, 4. $\vec{a} \times \vec{c} \neq \vec{c}$,
5. $\vec{a} \times \vec{c} = 0$, 6. $\vec{a} \times \vec{c} \neq 0$.

Комбинации основных свойств пар векторов по три дает восемь исключающих друг друга отношений:

1. $\vec{a}\ R1\vec{c} \equiv (\vec{a} \times \vec{c} = \vec{a}) \cap (\vec{a} \times \vec{c} = \vec{c}) \cap (\vec{a} \times \vec{c} \neq 0)$;
2. $\vec{a}\ R2\vec{c} \equiv (\vec{a} \times \vec{c} \neq \vec{a}) \cap (\vec{a} \times \vec{c} \neq \vec{c}) \cap (\vec{a} \times \vec{c} = 0)$;
3. $\vec{a}\ R3\vec{c} \equiv (\vec{a} \times \vec{c} \neq \vec{a}) \cap (\vec{a} \times \vec{c} \neq \vec{c}) \cap (\vec{a} \times \vec{c} \neq 0)$;
4. $\vec{a}\ R4\vec{c} \equiv (\vec{a} \times \vec{c} \neq \vec{a}) \cap (\vec{a} \times \vec{c} = \vec{c}) \cap (\vec{a} \times \vec{c} \neq 0)$;
5. $\vec{a}\ R5\vec{c} \equiv (\vec{a} \times \vec{c} = \vec{a}) \cap (\vec{a} \times \vec{c} \neq \vec{c}) \cap (\vec{a} \times \vec{c} \neq 0)$;
6. $\vec{a}\ R6\vec{c} \equiv (\vec{a} \times \vec{c} = \vec{a}) \cap (\vec{a} \times \vec{c} \neq \vec{c}) \cap (\vec{a} \times \vec{c} = 0)$;
7. $\vec{a}\ R7\vec{c} \equiv (\vec{a} \times \vec{c} \neq \vec{a}) \cap (\vec{a} \times \vec{c} = \vec{c}) \cap (\vec{a} \times \vec{c} = 0)$;
8. $\vec{a}\ R8\vec{c} \equiv (\vec{a} \times \vec{c} = \vec{a}) \cap (\vec{a} \times \vec{c} = \vec{c}) \cap (\vec{a} \times \vec{c} = 0)$.

Здесь $\cap$ – *логическое И.*

Очевидно, что отношения R6, R7, R8 тривиальны, так как в каждом из них один или оба векторы равны нулю. На основании анализа основных конъюнктивных свойств пар векторов сформулируем следующее утверждение:

Утверждение 1. На множестве пар векторов $\vec{a}$, $\vec{a}\,'$ ∈ **A** можно определить пять основных, исключающих друг друга отношений ***R1, R2, R3, R4, R5.***

$$\vec{a}\,R1\vec{a}\,' \equiv \forall \vec{a}_i, \vec{a}_{i+1} \in A\!: (\vec{a}_i \times \vec{a}_{i+1} = \vec{a}_i) \cap (\vec{a}_i \times \vec{a}_{i+1} = \vec{a}_{i+1}) \cap (\vec{a}_i \times \vec{a}_{i+1} \neq 0),$$

здесь $\vec{a}_i \times \vec{a}_{i+1}$ *– конъюнкция векторов* $\vec{a}_i$ *и* $\vec{a}_{i+1}$, $\cap$ *– логическое И;*

$$\vec{a}\,R2\vec{a}\,' \equiv \forall \vec{a}_i, \vec{a}_{i+1} \in A\!: (\vec{a}_i \times \vec{a}_{i+1} \neq \vec{a}_i) \cap (\vec{a}_i \times \vec{a}_{i+1} \neq \vec{a}_{i+1}) \cap (\vec{a}_i \times \vec{a}_{i+1} = 0);$$

$$\vec{a}\,R3\vec{a}\,' \equiv \forall \vec{a}_i, \vec{a}_{i+1} \in A\!: (\vec{a}_i \times \vec{a}_{i+1} \neq \vec{a}_i) \cap (\vec{a}_i \times \vec{a}_{i+1} \neq \vec{a}_{i+1}) \cap (\vec{a}_i \times \vec{a}_{i+1} \neq 0);$$

$$\vec{a}\,R4\vec{a}\,' \equiv \forall \vec{a}_i, \vec{a}_{i+1} \in A\!: (\vec{a}_i \times \vec{a}_{i+1} \neq \vec{a}_i) \cap (\vec{a}_i \times \vec{a}_{i+1} = \vec{a}_{i+1}) \cap (\vec{a}_i \times \vec{a}_{i+1} \neq 0);$$

$$\vec{a}\,R5\vec{a}\,' \equiv \forall \vec{a}_i, \vec{a}_{i+1} \in A\!: (\vec{a}_i \times \vec{a}_{i+1} = \vec{a}_i) \cap (\vec{a}_i \times \vec{a}_{i+1} \neq \vec{a}_{i+1}) \cap (\vec{a}_i \times \vec{a}_{i+1} \neq 0)$$

На основе утверждения 1 определим основные операции построения н-РС.

Если пара векторов $(\vec{a}^{\,1}, \vec{a}^{\,k})$ *находится в отношении* ***R1, R2, R3, R4, R5,*** *то соответственно выполняются операции* $\boldsymbol{Qj^1}$, $\boldsymbol{Qj^2}$, $\boldsymbol{Qj^3}$, $\boldsymbol{Qj^4}$, *или* $\boldsymbol{Qj^5}$, *которые состоят в построении по паре векторов* $(\vec{a}^{\,1}, \vec{a}^{\,k})$ *новой тройки векторов* $(\vec{a}^{\,1}, \vec{a}^{\,k}, \vec{a}^{\,k+1})$ *и задаются следующим образом:*

$$Q^1(\vec{a},\vec{a}\,')=(\vec{a}^{\,1},\vec{a}^{\,k},\vec{a}^{\,k+1}),\quad \vec{a}^{\,1}:=\vec{a}^{\,1},\quad \vec{a}^{\,k}:=0,\ \vec{a}^{\,k+1}:=0\ ;$$

$$Q^2(\vec{a},\vec{a}\,')=(\vec{a}^{\,1},\vec{a}^{\,k},\vec{a}^{\,k+1}),\ \vec{a}^{\,1}:=\vec{a}^{\,1},\ \vec{a}^{\,k}:=\vec{a}^{\,k},\ \vec{a}^{\,k+1}:=0\ ;$$

$$Q^3(\vec{a},\vec{a}\,')=(\vec{a}^{\,1},\vec{a}^{\,k},\vec{a}^{\,k+1}),\quad \vec{a}^{\,1}:=(\overline{\vec{a}^{\,1}\times\vec{a}^{\,k}}\times\vec{a}^{\,1})\cup\vec{c}\ ,$$

$$\vec{a}^{\,k}:=(\overline{\vec{a}^{\,1}\times\vec{a}^{\,k}}\times\vec{a}^{\,k})\cup\vec{c}\ ,\quad \vec{a}^{\,k+1}:=\vec{a}^{\,1}\times\vec{a}^{\,k},$$

$$Q^4(\vec{a},\vec{a}\,')=(\vec{a}^{\,1},\vec{a}^{\,k},\vec{a}^{\,k+1}),\ \vec{a}^{\,k}:=\vec{a}^{\,k},\ \vec{a}^{\,1}:=(\overline{\vec{a}^{\,1}\times\vec{a}^{\,k}}\times\vec{a}^{\,1})\cup\vec{c}\ ,$$

$$\vec{a}^{\,k+1}:=0\ ;$$

$$Q^5(\vec{a},\vec{a}\,')=(\vec{a}^{\,1},\vec{a}^{\,k},\vec{a}^{\,k+1}),\ \vec{a}^{\,1}:=\vec{a}^{\,1},\ \vec{a}^{\,k}:=(\overline{\vec{a}^{\,1}\times\vec{a}^{\,k}}\times\vec{a}^{\,k})\cup\vec{c}\ ,$$

$$\vec{a}^{\,k+1}_{ri}:=0\ ;$$

здесь $\cup$ *– дизъюнкция векторов, применяемая к компонентам векторов.*

Нейроподобные растущие сети являются динамическими структурами, которые в процессе функционирования преобразуются.

В теории нейроподобных растущих сетей топологическая структура сети представляется с помощью матриц.

В соответствии с [9], преобразования, выполняемые над матрицами, соответствуют структурным преобразованиям графов, а в приложении теории нейроподобных растущих сетей соответствуют преобразованиям структуры этих сетей.

В связи с тем, что нейроподобные растущие сети являются динамическими структурами, которые изменяются (растут) в результате каждого нового поступления информации на рецепторные поля, то и матрицы мрэн-РС также преобразуются в процессе анализа и накопления информации.

Номера строк такой матрицы являются номерами нейроподобных элементов множества $\boldsymbol{A}=\{a_i\}$, где $i\in \boldsymbol{I}=\{1,2,3,\ldots,k\}$, соответствующих описаниям объектов, состояний или ситуаций. Строка матрицы состоит из объединения векторов $\boldsymbol{M}$ и $\boldsymbol{N}$, где $\boldsymbol{M}$ – вектор, представляющий описание объекта, признаки которого располагаются слева направо в соответствии с порядком нумерации рецепторов из множества $\boldsymbol{R}=\{r_1,r_2,\ldots,r_n\}$, а $\boldsymbol{N}$ – вектор, элементы которого нумеруются слева направо в соответствии с порядком нумерации вершин множества $\boldsymbol{A}$, т.е. $\boldsymbol{M}=\{n_i\ /\mathrm{i}\in 1,\overline{\overline{\mathrm{R}}}\}$, $\boldsymbol{N}=\{k_i\ \ /\ i\in 1,\overline{\overline{A}}\ \}$, где

$$k_i=\begin{cases}0, \text{ если вектор } a_i, \text{ соответствующий } j\text{-ой} \\ \quad \text{строке матрицы, не имеет связи с новым} \\ \quad \text{вектором } a_{i+1}, \\ 1, \text{ если вектор } a_i, \text{ соответствующий } j\text{-ой} \\ \quad \text{строке матрицы, имеет связь с новым вектором } a_{i+1},\end{cases}$$

$\overline{\overline{R}}$ и $\overline{\overline{A}}$ - мощности множеств $\boldsymbol{R}$ и $\boldsymbol{A}$ соответственно.

$$n_i = \begin{cases} 0, \text{ если признак объекта, соответствующий } i\text{-му рецептору, отсутствует,} \\ 1, \text{ если признак объекта, соответствующий } i\text{-му рецептору, присутствует,} \end{cases}$$

Матричное представление рецепторно-эффекторных нейроподобных растущих сетей

Для формирования матрицы рэн-РС [10] установим коэффициенты связности $h_r \geq n_1$ и $h_e \geq n_2$. Пусть внешняя информация, поступающая на рецепторное поле, представлена множеством $\boldsymbol{Wr} = \{r_i^j\}$, $i \in \boldsymbol{Ir}$, $j \in \boldsymbol{Jr}$, а возбуждения, поступающие на эффекторное поле, множеством $\boldsymbol{We} = \{d_i^j\}$, $i \in \boldsymbol{Ie}$, $j \in \boldsymbol{Je}$. Для всех пар векторов $\vec{a}\ ,\vec{a}\,' \in \boldsymbol{Vr}$, $\vec{a}\ ,\vec{a}\,' \in \boldsymbol{Ve}$, где $\boldsymbol{Vr}$ – множество векторов строк длины k рецепторной зоны и $\boldsymbol{Ve}$ – множество векторов строк длины l эффекторной зоны, введем исключающие друг друга отношения R_ri, R_ei для рецепторной и эффекторной зон соответственно.

$$\vec{a}\, R_r 1 \vec{a}\,' \equiv \forall \vec{a}_i^{\,j}, \vec{a}_i^{\,j+1} \in A\ :(\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} = \vec{a}_i^{\,j}) \cap (\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} = \vec{a}_i^{\,j+1} \cap (\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} \neq 0),$$

здесь $\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1}$ – конъюнкция векторов $\vec{a}_i^{\,j}$ и $\vec{a}_i^{\,j+1}$, $\cap$ – логическое И;

$$\vec{a}\, R_r 2 \vec{a}\,' \neq \forall \vec{a}_i^{\,j}, \vec{a}_i^{\,j+1} \in A\ :(\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} \neq \vec{a}_i^{\,j}) \cap (\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} \neq \vec{a}_i^{\,j+1}) \cap (\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} = 0);$$

$$\vec{a}\, R_r 3 \vec{a}\,' \equiv \forall \vec{a}_i^{\,j}, \vec{a}_i^{\,j+1} \in A\ :(\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} \neq \vec{a}_i^{\,j}) \cap (\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} \neq \vec{a}_i^{\,j+1}) \cup (\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} \neq 0);$$

$$\vec{a}\, R_r 4 \vec{a}\,' \equiv \forall \vec{a}_i^{\,j}, \vec{a}_i^{\,j+1} \in A\ :(\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} \neq \vec{a}_i^{\,j}) \cap (\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} = \vec{a}_i^{\,j+1}) \cup (\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} \neq 0);$$

$$\vec{a}\, R_r 5 \vec{a}\,' \equiv \forall \vec{a}_i^{\,j}, \vec{a}_i^{\,j+1} \in A\ :(\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} = \vec{a}_i^{\,j}) \cap (\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} \neq \vec{a}_i^{\,j+1}) \cap (\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} \neq 0);$$

$$\vec{a}\, R_e 1 \vec{a}\,' \equiv \forall \vec{a}_i^{\,j}, \vec{a}_i^{\,j+1} \in A\ :(\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} = \vec{a}_i^{\,j}) \cap (\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} = \vec{a}_i^{\,j+1} \cap (\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} \neq 0);$$

$$\vec{a}\, R_e 2 \vec{a}\,' \neq \forall \vec{a}_i^{\,j}, \vec{a}_i^{\,j+1} \in A\ :(\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} \neq \vec{a}_i^{\,j}) \cap (\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} \neq \vec{a}_i^{\,j+1}) \cap (\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} = 0);$$

$$\vec{a}\, R_e 3 \vec{a}\,' \equiv \forall \vec{a}_i^{\,j}, \vec{a}_i^{\,j+1} \in A\ :(\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} \neq \vec{a}_i^{\,j}) \cap (\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} \neq \vec{a}_i^{\,j+1}) \cup (\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} \neq 0);$$

$$\vec{a}\, R_e 4 \vec{a}\,' \equiv \forall \vec{a}_i^{\,j}, \vec{a}_i^{\,j+1} \in A\ :(\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} \neq \vec{a}_i^{\,j}) \cap (\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} = \vec{a}_i^{\,j+1}) \cup (\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} \neq 0);$$

$$\vec{a}\, R_e 5 \vec{a}\,' \equiv \forall \vec{a}_i^{\,j}, \vec{a}_i^{\,j+1} \in A\ :(\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} = \vec{a}_i^{\,j}) \cap (\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} \neq \vec{a}_i^{\,j+1}) \cap (\vec{a}_i^{\,j} \times \vec{a}_i^{\,j+1} \neq 0)\ .$$

A. Пусть имеется множество векторов $\vec{a}_{ri}^{\,1}, \vec{a}_{ri}^{\,2}, \vec{a}_{ri}^{\,3}, \ldots, \vec{a}_{ri}^{\,k}$ и $\vec{a}_{ei}^{\,1}, \vec{a}_{ei}^{\,2}, \vec{a}_{ei}^{\,3}, \ldots, \vec{a}_{ei}^{\,k}$ для рецепторной и эффекторной зон соответственно.

B. Проверяем, в каком из отношений $\boldsymbol{R_r1}$, $\boldsymbol{R_r2}$, $\boldsymbol{R_r3}$, $\boldsymbol{R_r4}$, $\boldsymbol{R_r5}$ находится пара векторов $\vec{a}\ ,\vec{a}\,'$ из множества пар рецепторной зоны $(\vec{a}_{ri}^{\,1}, \vec{a}_{ri}^{\,k}), (\vec{a}_{ri}^{\,2}, \vec{a}_{ri}^{\,k}), (\vec{a}_{ri}^{\,3}, \vec{a}_{ri}^{\,k}), \ldots, (\vec{a}_{ri}^{\,k-1}, \vec{a}_{ri}^{\,k})$ и одновременно в каком из отношений $\boldsymbol{R_e1}$, $\boldsymbol{R_e2}$, $\boldsymbol{R_e3}$, $\boldsymbol{R_e4}$, $\boldsymbol{R_e5}$ находится пара векторов $\vec{a}\ ,\vec{a}\,'$ из множеств пар эффекторной зоны $(\vec{a}_{ei}^{\,1}, \vec{a}_{ei}^{\,k}), (\vec{a}_{ei}^{\,2}, \vec{a}_{ei}^{\,k}), (\vec{a}_{ei}^{\,3}, \vec{a}_{ei}^{\,k}), \ldots, (\vec{a}_{ei}^{\,k-1}, \vec{a}_{ei}^{\,k})$, где k пробегает от 2 до k+g, здесь g – число новых векторов.

РЕЦЕПТОРНАЯ ЗОНА. Если пара векторов $(\vec{a}_{ri}^{1}, \vec{a}_{ri}^{k})$ находится в отношении ***R$_r$1, R$_r$2, R$_r$3, R$_r$4, R$_r$5,*** то соответственно выполняются операции Qrj^1, Qrj^2, Qrj^3, Qrj^4 или Qrj^5:

$$Q_{r1}^{1}(\vec{a},\vec{a}\,') = (\vec{a}_{ri}^{1},\vec{a}_{ri}^{k},\vec{a}_{ri}^{k+1}),\ \vec{a}_{ri}^{1} := \vec{a}_{ri}^{1},\ \vec{a}_{ri}^{k} := 0,\ \vec{a}_{ri}^{k+1} := 0,\ m_k^{\vec{a}_i^1} := b_k,\ m_k^{\vec{a}_i^2} := b_k,\ P_{\vec{a}_i^1}^{0} = f(m_k^{\vec{a}_i^1}),\ P_{\vec{a}_i^2}^{0} = f(m_k^{\vec{a}_i^2}); \quad (1)$$

$$Q_{r1}^{2}(\vec{a},\vec{a}\,') = (\vec{a}_{ri}^{1},\vec{a}_{ri}^{k},\vec{a}_{ri}^{k}),\ \vec{a}_{ri}^{1} := \vec{a}_{ri}^{1},\ \vec{a}_{ri}^{k} := \vec{a}_{ri}^{k},\ \vec{a}_{ri}^{k+1} := 0,\ m_k^{\vec{a}_i^1} := b_k,\ m_k^{\vec{a}_i^2} := b_k,\ P_{\vec{a}_i^1}^{0} = f(m_k^{\vec{a}_i^1}),\ P_{\vec{a}_i^2}^{0} = f(m_k^{\vec{a}_i^2}); \quad (2)$$

$$Q_{r1}^{3}(\vec{a},\vec{a}\,') = (\vec{a}_{ri}^{1},\vec{a}_{ri}^{k},\vec{a}_{ri}^{k+1}),\ \vec{a}_{ri}^{1} := (\overline{\vec{a}_{ri}^{1}\times\vec{a}_{ri}^{k}}\times\vec{a}_{ri}^{1})\cup c_{rj},\ \vec{a}_{ri}^{k} := (\overline{\vec{a}_{ri}^{1}\times\vec{a}_{ri}^{k}}\times \vec{a}_{ri}^{k})\cup c_{rj},\ \vec{a}_{ri}^{k+1} := \vec{a}_{ri}^{1}\times\vec{a}_{ri}^{k},\ m_k^{\vec{a}_i^1} := b_k,\ m_k^{\vec{a}_i^k} := b_k,\ m_c^{\vec{a}_i^{1,k}} := f(P_{\vec{a}_i^{k+1}}^{0}),\ P_{\vec{a}_i^{k+1}}^{0} = f(m_k^{\vec{a}_i^{+1k}}),\ P_{\vec{a}_i^1}^{0} = f(m_k^{\vec{a}_i^1}, m_c^{\vec{a}_i^1}),\ P_{\vec{a}_i^k}^{0} = f(m_k^{\vec{a}_i^k}, m_c^{\vec{a}_i^k}); \quad (3)$$

$$Q_{r1}^{4}(\vec{a},\vec{a}\,') = (\vec{a}_{ri}^{1},\vec{a}_{ri}^{k},\vec{a}_{ri}^{k+1}),\ \vec{a}_{ri}^{1} := (\overline{\vec{a}_{ri}^{1}\times\vec{a}_{ri}^{k}}\times\vec{a}_{ri}^{1})\cup c_{rj},\ \vec{a}_{ri}^{k} := \vec{a}_{ri}^{k},\ \vec{a}_{ri}^{k+1} := 0,\ m_k^{\vec{a}_i^1} := b_k,\ m_k^{\vec{a}_i^k} := b_k,\ m_c^{\vec{a}_i^k} := f(P_{\vec{a}_i^k}^{0}),\ P_{\vec{a}_i^k}^{0} = f(m_k^{\vec{a}_i^k}),\ P_{\vec{a}_i^1}^{0} = f(m_k^{\vec{a}_i^1}, m_c^{\vec{a}_i^1}); \quad (4)$$

$$Q_{r1}^{5}(\vec{a},\vec{a}\,') = (\vec{a}_{ri}^{1},\vec{a}_{ri}^{k},\vec{a}_{ri}^{k+1}),\ \vec{a}_{ri}^{1} := \vec{a}_{ri}^{1},\ \vec{a}_{ri}^{k} := (\overline{\vec{a}_{ri}^{1}\times\vec{a}_{ri}^{k}}\times\vec{a}_{ri}^{k})\cup c_{rj},\ \vec{a}_{ri}^{k+1} := 0,\ m_k^{\vec{a}_i^1} := b_k,\ m_k^{\vec{a}_i^k} := b_k,\ m_c^{\vec{a}_i^k} := f(P_{\vec{a}_i^1}^{0}),\ P_{\vec{a}_i^1}^{0} = f(m_k^{\vec{a}_i^1}),\ P_{\vec{a}_i^k}^{0} = f(m_k^{\vec{a}_i^k}, m_c^{\vec{a}_i^k}). \quad (5)$$

Операции Q_{r1}^{1}, Q_{r1}^{2}, Q_{r1}^{3}, Q_{r1}^{4} или Q_{r1}^{5} справедливы, если $h_r \geq n_1$, в противном случае – если $\vec{a}_{ri}^{1} \neq \vec{a}_{ri}^{k}$, то $\vec{a}_{ri}^{1} := \vec{a}_{ri}^{1}$, $\vec{a}_{ri}^{k} := \vec{a}_{ri}^{k}$, $\vec{a}_{ri}^{k+1} := 0$,

$$m_k^{a_i^1} := b_k^{r_i^1},\quad m_k^{a_i^1} := b_k^{r_i^1},\ P_{a_i^1}^{0} = f(m_k^{a_i^1}),\quad P_{a_i^1}^{0} = f(m_k^{a_i^1}), \quad (6)$$

если же $\vec{a}_{ri}^{1} = \vec{a}_{ri}^{k}$, то $\vec{a}_{ri}^{k} := 0$, $\vec{a}_{ri}^{k+1} := 0$, $m_k^{a_i^1} := b_k$, $P_{a_i^1}^{0} = f(m_k^{a_i^1})$. (7)

$$k = \begin{cases} 1, \text{ если выполнялась операция } Qrj^1, \\ 2, \text{ если выполнялась операция } Q_{r1}^2, Q_{r1}^4, Q_{r1}^5, \\ 3, \text{ если выполнялась операция } Qrj^3. \end{cases}$$

Если пара векторов $(\vec{a}_{ri}^{2}, \vec{a}_{ri}^{k})$ находится в отношении ***R$_r$1, R$_r$2, R$_r$3, R$_r$4, R$_r$5,*** то соответственно выполняются операции Qrj^1, Qrj^2, Qrj^3, Qrj^4 или Qrj^5.

$$Q_{r2}^{1}(\vec{a},\vec{a}\,') = (\vec{a}_{ri}^{2},\vec{a}_{ri}^{k},\vec{a}_{ri}^{k+1}),\ \vec{a}_{ri}^{2} := \vec{a}_{ri}^{2},\ \vec{a}_{ri}^{k} := 0,\ \vec{a}_{ri}^{k+1} := 0,\ m_k^{\vec{a}_i^1} := b_k,\ m_k^{\vec{a}_i^2} := b_k,\ P_{\vec{a}_i^1}^{0} = f(m_k^{\vec{a}_i^1}),\ P_{\vec{a}_i^2}^{0} = f(m_k^{\vec{a}_i^2}); \quad (8)$$

$$Q_{r2}^{2}(\vec{a},\vec{a}\,') = (\vec{a}_{ri}^{2},\vec{a}_{ri}^{k},\vec{a}_{ri}^{k}),\ \vec{a}_{ri}^{2} := \vec{a}_{ri}^{2},\ \vec{a}_{ri}^{k} := \vec{a}_{ri}^{k},\ \vec{a}_{ri}^{k+1} := 0,\ m_k^{\vec{a}_i^1} := b_k,\ m_k^{\vec{a}_i^2} := b_k,\ P_{\vec{a}_i^1}^{0} = f(m_k^{\vec{a}_i^1}),\ P_{\vec{a}_i^2}^{0} = f(m_k^{\vec{a}_i^2}); \quad (9)$$

$$Q^3_{r2}(\vec a,\vec a') = (\vec a^2_{ri}, \vec a^k_{ri}, \vec a^{k+1}_{ri}),\ \vec a^2_{ri} := (\overline{\vec a^2_{ri}\times\vec a^k_{ri}}\times \vec a^2_{ri})\cup c_{rj},\ \vec a^k_{ri} := (\overline{\vec a^2_{ri}\times \vec a^k_{ri}} \times$$
$$\times \vec a^k_{ri})\cup c_{rj},\ \vec a^{k+1}_{ri} := \vec a^2_{ri}\times\vec a^k_{ri},\ m_k^{\vec a_i^1} := b_k,\ m_k^{\vec a_i^k} := b_k,\ m_c^{\vec a_i^k} := f(P^0_{\vec a_i^1}), \quad (10)$$
$$P^0_{\vec a_i^1} = f(m_k^{\vec a_i^1}),\quad P^0_{\vec a_i^k} = f(m_k^{\vec a_i^k}, m_c^{\vec a_i^k});$$

$$Q^4_{r2}(\vec a,\vec a') = (\vec a^2_{ri}, \vec a^k_{ri}, \vec a^{k+1}_{ri}),\ \vec a^2_{ri} := (\overline{\vec a^2_{ri}\times\vec a^k_{ri}}\times \vec a^2_{ri})\cup c_{rj},\ \vec a^k_{ri} := \vec a^k_{ri},$$
$$\vec a^{k+1}_{ri} := 0,\ m_k^{\vec a_i^1} := b_k,\ m_k^{\vec a_i^k} := b_k,\ m_c^{\vec a_i^k} := f(P^0_{\vec a_i^k}),\ P^0_{\vec a_i^k} = f(m_k^{\vec a_i^k}), \quad (11)$$
$$P^0_{\vec a_i^1} = f(m_k^{\vec a_i^1}, m_c^{\vec a_i^1});$$

$$Q^5_{r2}(\vec a,\vec a') = (\vec a^2_{ri}, \vec a^k_{ri}, \vec a^{k+1}_{ri}),\ \vec a^2_{ri} := \vec a^2_{ri},\ \vec a^k_{ri} := (\overline{\vec a^2_{ri}\times\vec a^k_{ri}}\times \vec a^k_{ri})\cup c_{rj},\ \vec a^{k+1}_{ri} := 0,$$
$$m_k^{\vec a_i^1} := b_k,\ m_k^{\vec a_i^k} := b_k,\ m_c^{\vec a_i^{1,k}} := f(P^0_{\vec a_i^{k+1}}), P^0_{\vec a_i^{k+1}} = f(m_k^{\vec a_i^{+1k}}),\ P^0_{\vec a_i^1} = f(m_k^{\vec a_i^1}, m_c^{\vec a_i^1}), \quad (12)$$
$$P^0_{\vec a_i^k} = f(m_k^{\vec a_i^k}, m_c^{\vec a_i^k}).$$

Здесь для $Q_{r2}{}^4$, $Q_{r2}{}^5$, $\vec a^{k+1}_{ri} = 0$, если в результате выполнения операций $Q_{r1}{}^4$, $Q_{r1}{}^5$, $\vec a^{k+1}_{ri} = 0$; и $\vec a^{k+1}_{ri} \neq 0$, (13)
если в результате выполнения операций $Q_{r1}{}^3$ $Q_{r1}{}^4$, $\vec a^{k+1}_{ri} \neq 0$.

Приведенные выше операции выполняются, если $h_r \geq n_1$, в противном случае – если $\vec a^2_{ri} \neq \vec a^k_{ri}$, то $\vec a^2_{ri} := \vec a^2_{ri},\ \vec a^k_{ri} := \vec a^k_{ri},\ m_k^{a_i^2} := b_k, m_k^{a_i^k} := b_k$,

$$P^0_{a_i^1} = f(m_k^{a_i^1}), P^0_{a_i^2} = f(m_k^{a_i^2}) \quad (14)$$

и если $\vec a^2_{ri} = \vec a^k_{ri}$, то $\vec a^2_{ri} := \vec a^2_{ri},\ \vec a^k_{ri} := 0,\ m_k^{a_i^2} := b_k,\ P^0_{a_i^2} = f(m_k^{a_i^2})$. (15)

Далее, если пара векторов $(\vec a^3_{ri}, \vec a^k_{ri})$ находится в отношении R_r1, R_r2, R_r3, R_r4, R_r5, то соответственно выполняются операции Qrj^1, Qrj^2, Qrj^3, Qrj^4 или Qrj^5 и так далее до тех пор, пока не исчерпается множество пар

$$(\vec a^1_{ri}, \vec a^k_{ri}), (\vec a^2_{ri}, \vec a^k_{ri}), (\vec a^3_{ri}, \vec a^k_{ri}), \ldots, (\vec a^{k-1}_{ri}, \vec a^k_{ri}).$$

ЭФФЕКТОРНАЯ ЗОНА. Аналогично в эффекторной зоне, если пара векторов $(\vec a^1_{ei}, \vec a^k_{ei})$ находится в отношении R_e1, R_e2, R_e3, R_e4, R_e5, то соответственно выполняются операции Qej^1, Qej^2, Qej^3, Qej^4 или Qej^5:

$$Q^1_{e1}(\vec a,\vec a') = (\vec a^1_{ei}, \vec a^k_{ei}, \vec a^{k+1}_{ei}),\ \vec a^1_{ei} := \vec a^1_{ei},\ \vec a^k_{ei} := 0,\ \vec a^{k+1}_{ei} := 0,\ m_k^{\vec a_i^1} := b_k, \quad (16)$$
$$m_k^{\vec a_i^2} := b_k,\quad P^0_{\vec a_i^1} = f(m_k^{\vec a_i^1}),\quad P^0_{\vec a_i^2} = f(m_k^{\vec a_i^2});$$

$$Q^2_{e1}(\vec a,\vec a') = (\vec a^1_{ei}, \vec a^k_{ei}, \vec a^k_{ei}),\ \vec a^1_{ei} := \vec a^1_{ei},\ \vec a^k_{ei} := \vec a^k_{ei},\ \vec a^{k+1}_{ei} := 0,\ m_k^{\vec a_i^1} := b_k, \quad (17)$$
$$m_k^{\vec a_i^2} := b_k,\quad P^0_{\vec a_i^1} = f(m_k^{\vec a_i^1}),\quad P^0_{\vec a_i^2} = f(m_k^{\vec a_i^2});$$

$$Q^3_{e1}(\vec a,\vec a') = (\vec a^1_{ei}, \vec a^k_{ei}, \vec a^{k+1}_{ei}),\ \vec a^1_{ei} := (\overline{\vec a^1_{ei}\times\vec a^k_{ei}}\times \vec a^1_{ei})\cup c_{ej},\ \vec a^k_{ei} := (\overline{\vec a^1_{ei}\times \vec a^k_{ei}} \times$$
$$= \vec a^k_{ei})\cup c_{ej},\ \vec a^{k+1}_{ei} := \vec a^1_{ei}\times\vec a^k_{ei},\ m_k^{\vec a_i^1} := b_k,\ m_k^{\vec a_i^k} := b_k,\ m_c^{\vec a_i^{1,k}} := f(P^0_{\vec a_i^{k+1}}), \quad (18)$$
$$P^0_{\vec a_i^{k+1}} = f(m_k^{\vec a_i^{+1k}}),\ P^0_{\vec a_i^1} = f(m_k^{\vec a_i^1}, m_c^{\vec a_i^1}),\ P^0_{\vec a_i^k} = f(m_k^{\vec a_i^k}, m_c^{\vec a_i^k});$$

$$Q^4_{e1}(\vec a,\vec a') = (\vec a^{\,1}_{ei},\vec a^{\,k}_{ei},\vec a^{\,k+1}_{ei}),\quad \vec a^{\,1}_{ei} := (\overline{\vec a^{\,1}_{ei}\times\vec a^{\,k}_{ei}}\times\vec a^{\,1}_{ei})\cup c_{ej},\quad \vec a^{\,k}_{ei} := \vec a^{\,k}_{ei},$$
$$\vec a^{\,k+1}_{ei} := 0,\ m_k^{\vec a_i^1} := b_k,\ m_k^{\vec a_i^k} := b_k,\ m_c^{\vec a_i^k} := f(P^0_{\vec a_i^k}),\ P^0_{\vec a_i^k} = f(m_k^{\vec a_i^k}), \quad (19)$$
$$P^0_{\vec a_i^1} = f(m_k^{\vec a_i^1}, m_c^{\vec a_i^1});$$
$$Q^5_{e1}(\vec a,\vec a') = (\vec a^{\,1}_{ei},\vec a^{\,k}_{ei},\vec a^{\,k+1}_{ri}),\ \vec a^{\,1}_{ei} := \vec a^{\,1}_{ei},\ \vec a^{\,k}_{ei} := (\overline{\vec a^{\,1}_{ei}\times\vec a^{\,k}_{ei}}\times\vec a^{\,k}_{ei})\cup c_{ej},\ \vec a^{\,k+1}_{ei} := 0,$$
$$m_k^{\vec a_i^1} := b_k,\ m_k^{\vec a_i^k} := b_k,\ m_c^{\vec a_i^k} := f(P^0_{\vec a_i^1}),\ P^0_{\vec a_i^1} = f(m_k^{\vec a_i^1}),\ P^0_{\vec a_i^k} = f(m_k^{\vec a_i^k}, m_c^{\vec a_i^k}). \quad (20)$$

Операции Q_{e1}^1, Q_{e1}^2, Q_{e1}^3, Q_{e1}^4 или Q_{e1}^5 справедливы, если $h_r \geq n_1$, в противном случае если $\vec a^{\,1}_{ei} \neq \vec a^{\,k}_{ei}$, то $\vec a^{\,1}_{ei} := \vec a^{\,1}_{ei}$, $\vec a^{\,k}_{ei} := \vec a^{\,k}_{ei}$, $\vec a^{\,k+1}_{ei} := 0$,

$$m_k^{a_i^1} := b_k^{e_i^1},\ m_k^{a_i^1} := b_k^{e_i^1},\ P^0_{a_i^1} = f(m_k^{a_i^1}),\ P^0_{a_i^1} = f(m_k^{a_i^1}), \quad (21)$$

если же $\vec a^{\,1}_{ei} = \vec a^{\,k}_{ei}$, то $\vec a^{\,k}_{ei} := 0$, $\vec a^{\,k+1}_{ei} := 0$, $m_k^{a_i^1} := b_k$, $P^0_{a_i^1} = f(m_k^{a_i^1})$. (22)

$$k = \begin{cases} 1, \text{ если выполнялась операция } Q_{ej}^1, \\ 2, \text{ если выполнялась операция } Q_{ej}^2, Q_{ej}^4, Q_{ej}^5, \\ 3, \text{ если выполнялась операция } Q_{ej}^3. \end{cases}$$

Если пара векторов $(\vec a^{\,2}_{ei}, \vec a^{\,k}_{ei})$ находится в отношении ***Re1, Re2, Re3, Re4, Re5,*** то соответственно выполняются операции Q_{ej}^1, Q_{ej}^2, Q_{ej}^3, Q_{ej}^4 или Q_{ej}^5:

$$Q^1_{e2}(\vec a,\vec a') = (\vec a^{\,2}_{ei},\vec a^{\,k}_{ei},\vec a^{\,k+1}_{ei}),\ \vec a^{\,2}_{ei} := \vec a^{\,2}_{ei},\ \vec a^{\,k}_{ei} := 0,\ \vec a^{\,k+1}_{ei} := 0,\ m_k^{\vec a_i^1} := b_k,$$
$$m_k^{\vec a_i^2} := b_k,\ P^0_{\vec a_i^1} = f(m_k^{\vec a_i^1}),\ P^0_{\vec a_i^2} = f(m_k^{\vec a_i^2}); \quad (23)$$
$$Q^2_{e2}(\vec a,\vec a') = (\vec a^{\,2}_{ei},\vec a^{\,k}_{ei},\vec a^{\,k}_{ei}),\ \vec a^{\,2}_{ei} := \vec a^{\,2}_{ei},\ \vec a^{\,k}_{ei} := \vec a^{\,k}_{ei},\ \vec a^{\,k+1}_{ei} := 0,\ m_k^{\vec a_i^1} := b_k,$$
$$m_k^{\vec a_i^2} := b_k,\ P^0_{\vec a_i^1} = f(m_k^{\vec a_i^1}),\ P^0_{\vec a_i^2} = f(m_k^{\vec a_i^2}); \quad (24)$$
$$Q^3_{e2}(\vec a,\vec a') = (\vec a^{\,2}_{ei},\vec a^{\,k}_{ei},\vec a^{\,k+1}_{ei}),\ \vec a^{\,2}_{ei} := (\overline{\vec a^{\,2}_{ei}\times\vec a^{\,k}_{ei}}\times\vec a^{\,2}_{ei})\cup c_{ej},\ \vec a^{\,k}_{ei} := (\overline{\vec a^{\,2}_{ei}\times\vec a^{\,k}_{ei}}\times$$
$$\times\vec a^{\,k}_{ei})\cup c_{ej},\ \vec a^{\,k+1}_{ei} := \vec a^{\,1}_{ei}\times\vec a^{\,k}_{ei},\ m_k^{\vec a_i^1} := b_k,\ m_k^{\vec a_i^k} := b_k,\ m_c^{\vec a_i^{1,k}} := f(P^0_{\vec a_i^{k+1}}), \quad (25)$$
$$P^0_{\vec a_i^{k+1}} = f(m_k^{\vec a_i^{+1k}}),\ P^0_{\vec a_i^1} = f(m_k^{\vec a_i^1}, m_c^{\vec a_i^1}),\ P^0_{\vec a_i^k} = f(m_k^{\vec a_i^k}, m_c^{\vec a_i^k});$$
$$Q^4_{e2}(\vec a,\vec a') = (\vec a^{\,2}_{ei},\vec a^{\,k}_{ei},\vec a^{\,k+1}_{ei}),\quad \vec a^{\,2}_{ei} := (\overline{\vec a^{\,2}_{ei}\times\vec a^{\,k}_{ei}}\times\vec a^{\,2}_{ei})\cup c_{ej},\quad \vec a^{\,k}_{ei} := \vec a^{\,k}_{ei},$$
$$\vec a^{\,k+1}_{ei} := 0,\ m_k^{\vec a_i^1} := b_k,\ m_k^{\vec a_i^k} := b_k,\ m_c^{\vec a_i^k} := f(P^0_{\vec a_i^k}),\ P^0_{\vec a_i^k} = f(m_k^{\vec a_i^k}), \quad (26)$$
$$P^0_{\vec a_i^1} = f(m_k^{\vec a_i^1}, m_c^{\vec a_i^1});$$
$$Q^5_{e2}(\vec a,\vec a') = (\vec a^{\,2}_{ei},\vec a^{\,k}_{ei},\vec a^{\,k+1}_{ri}),\ \vec a^{\,2}_{ei} := \vec a^{\,2}_{ei},\ \vec a^{\,k}_{ei} := (\overline{\vec a^{\,2}_{ei}\times\vec a^{\,k}_{ei}}\times\vec a^{\,k}_{ei})\cup c_{ej},\ \vec a^{\,k+1}_{ei} := 0,$$
$$m_k^{\vec a_i^1} := b_k,\ m_k^{\vec a_i^k} := b_k,\ m_c^{\vec a_i^k} := f(P^0_{\vec a_i^1}),\ P^0_{\vec a_i^1} = f(m_k^{\vec a_i^1}),\ P^0_{\vec a_i^k} = f(m_k^{\vec a_i^k}, m_c^{\vec a_i^k}). \quad (27)$$

Здесь для Q_{e2}^4, Q_{e2}^5, $\vec a^{\,k+1}_{ei} := 0$, если в результате выполнения операций Q_{e1}^4, Q_{e1}^5, $\vec a^{\,k+1}_{ei} := 0$; и $\vec a^{\,k+1}_{ei} :\neq 0$, если в результате выполнения операций Q_{e1}^4, Q_{e1}^5, $\vec a^{\,k+1}_{ei} :\neq 0$.

Приведенные выше операции выполняются, если $h_e \geq n_1$, в противном случае, если $\vec{a}_{ei}^{2} \neq \vec{a}_{ei}^{k}$, то $\vec{a}_{ei}^{2} := \vec{a}_{ei}^{2}$, $\vec{a}_{ei}^{k} := \vec{a}_{ei}^{k}$, $m_k^{a_i^2} := b_k$, $m_k^{a_i^k} := b_k$, $P_{a_i^1}^{0} = f(m_k^{a_i^1})$, $P_{a_i^2}^{0} = f(m_k^{a_i^2})$ и если $\vec{a}_{ei}^{2} = \vec{a}_{ei}^{k}$, то $\vec{a}_{ei}^{2} := \vec{a}_{ei}^{2}$, $\vec{a}_{ei}^{k} := 0$, $m_k^{a_i^2} := b_k$, $P_{a_i^2}^{0} = f(m_k^{a_i^2})$.

Далее, если пара векторов $(\vec{a}_{ei}^{3}, \vec{a}_{ei}^{k})$ находится в отношении ***R_e1, R_e2, R_e3, R_e4, R_e5,*** то соответственно выполняются операции $\boldsymbol{Qej^1}$, $\boldsymbol{Qej^2}$, $\boldsymbol{Qej^3}$, $\boldsymbol{Qej^4}$ или $\boldsymbol{Qej^5}$ и т.д. до тех пор, пока не исчерпается множество пар

$$(\vec{a}_{ei}^{1}, \vec{a}_{ei}^{k}), (\vec{a}_{ei}^{2}, \vec{a}_{ei}^{k}), (\vec{a}_{ei}^{3}, \vec{a}_{ei}^{k}), \ldots, (\vec{a}_{ei}^{k-1}, \vec{a}_{ei}^{k}).$$

Таким образом, описания понятий, объектов, условий или ситуаций формируются в рецепторной зоне матрицы, которая теперь содержит информацию об этих понятиях, объектах, условиях или ситуациях и связях между ними, указывающими на зависимость друг от друга их информационных представлений. В эффекторной зоне формируются адекватные входным описаниям последовательности действий и вырабатываются сигналы, управляющие исполнительными механизмами.

Многомерная рецепторно-эффекторная нейроподобная растущая сеть (мрэн-РС), обученная распознаванию лица человека, представлена графом (рис.1).

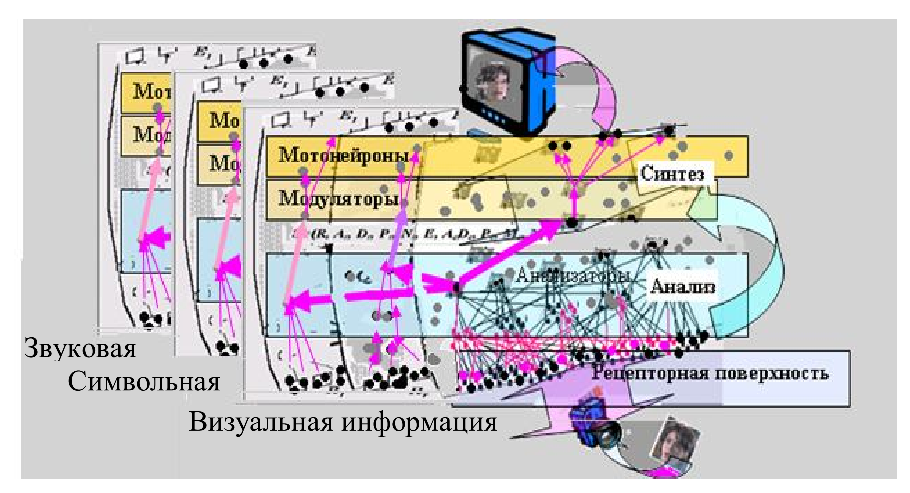


Рисунок 1 – Многомерная рецепторно-эффекторная нейроподобная растущая сеть

В сети анализ информации осуществляется ансамблями возбужденных нейроподобных элементов, которые выполняют прием и переработку сигналов видеоизображений. Ансамбли нейроподобных элементов – это многоуровневая система с иерархическим принципом ее конструкции. Основанием анализатора служит рецепторная поверхность. Каждый уровень этой конструкции представляет собой совокупность нейроподобных элементов, выходы которых идут на следующий уровень, выходы верхнего уровня выходят за пределы данного анализатора. На всех уровнях анализатора сохраняется принцип топической проекции рецепторов. Принцип многократной рецепто-топической проекции способствует осуществлению множественной и параллельной переработки (анализу и синтезу) рецепторных потенциалов («узоров возбуждений»), возникающих под действием раздражителей. Построение сети и анализ информации осуществляются в матричном представлении, т.е. анализ информации, выделение существенных признаков и ее запоминание осуществляются в матрице, сформированной в соответствии с (1) – (15).

Модуляторы исполняют роль регулятора уровня активности виртуального робота (уровня порога возбуждения нейроподобных элементов), а также осуществляют избирательную модуляцию и актуализацию приоритета той или иной функции. Первым

источником активации является внутренняя активность организма («желание» общения, распознавание известной личности, знакомство и запоминание неизвестной). Второй источник активации связан с воздействием раздражителей внешней среды (например, необходимый уровень освещения и расстояния до объекта). Оба источника активации создаются посредством матрицы, которая формируется в соответствии с (1) – (27).

Мотонейроны (двигательный анализатор) выполняют функцию запуска и контроля двигательной деятельности, реализации поведенческих актов (отображение и озвучивание распознанного изображения) посредством матрицы действий формируемой в соответствии с (16) – (27).

Виртуальный робот «VITROM»

Интерфейс виртуального робота «VITROM» показан на рис. 2. При отсутствии объекта распознавания в зоне видимости видеокамеры («глаза робота») робот призывает объект подойти к нему. При появлении объекта в зоне видимости робот пытается распознать объект. Если объект находится в зоне видимости, то на значительном удалении робот приглашает подойти ближе и пытается распознать объект. Если объект известен роботу, то он здоровается и называет объект по имени-отчеству. Если робот не «знает» объект или ошибся, то он предлагает объекту представиться, запоминает информацию и его изображение.



Рисунок 2 – Интерфейс виртуального робота «VITROM»

Для проверки правильности распознавания изображений лица человека виртуальный робот «VITROM» ознакомлен с базой «Yale FaceIMAGES_Data» – 200 изображений, а также изображений животных и пр. Распознавание практически безошибочное. На рис. 3 – 6 показано отображение распознавания лица человека из базы «Yale FaceIMAGES_Data».

На рис. 3 показано отображение распознавания лица человека из базы «Yale FaceIMAGES_Data» по фрагменту его изображения (по глазам).

На рис. 4 показано отображение распознавания лица человека из базы «Yale FaceIMAGES_Data» по заштрихованному изображению лица человека.

На рис. 5 показано отображение распознавания левой и правой частей лиц двух человек – объектов распознавания, совмещенных в одном изображении. Объекты распознавания взяты из базы «Yale FaceIMAGES_Data».

На рис. 6 показано отображение распознавания изображения животного – кошки.

Таким образом, виртуальный робот «VITROM» обучается в процессе функционирования и пополняет свою базу изображений объектов.



Рисунок 3 – Отображение распознавания лица человека из базы «Yale FaceIMAGES_Data» по фрагменту изображения лица человека

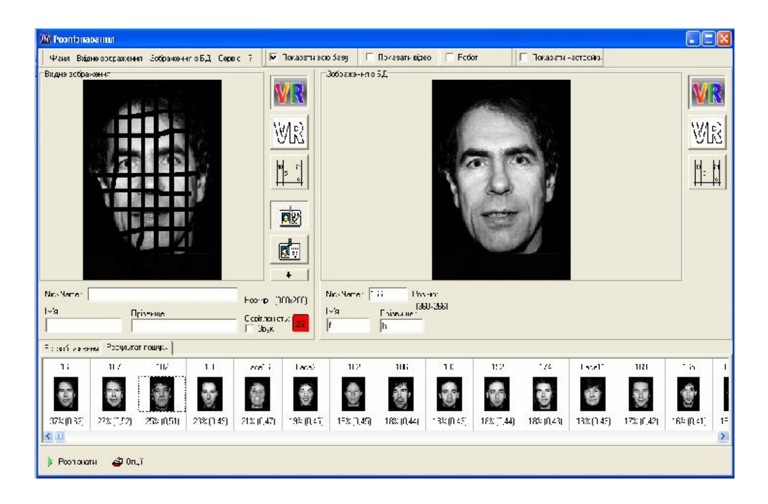


Рисунок 4 – Отображение распознавания лица человека из базы «Yale FaceIMAGES_Data» по заштрихованному изображению лица человека

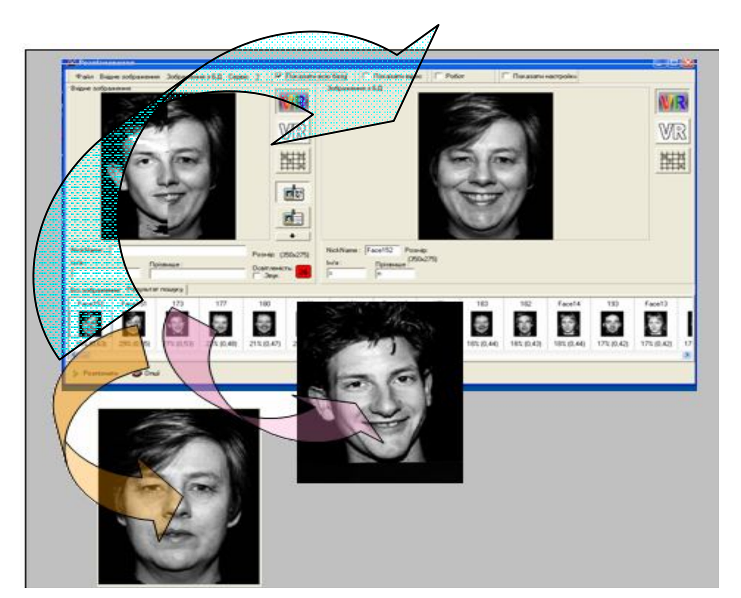


Рисунок 5 – Отображение распознавания левой и правой частей лиц двух человек

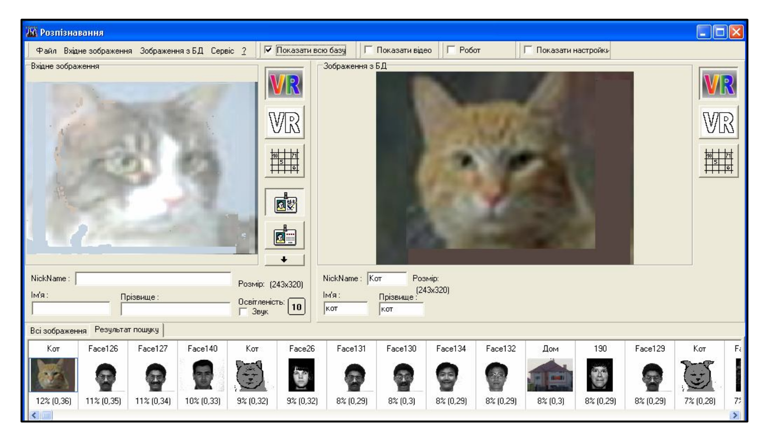


Рисунок 6 – Отображение распознавания изображения кошки

Выводы

На примере распознавания изображений лиц человека в работе рассмотрены некоторые вопросы реализации искусственной личности. Показана возможность разработки искусственной личности, способной обучаться, приобретать информацию, анализировать и использовать ее.

Литература

1. Шевченко А.И. Актуальные проблемы теории искусственного интеллекта / Шевченко А.И. – Київ : ІПШІ «Наука і освіта», 2003. – 228 с.
2. Будущее искусственного интеллекта // Сборник АН СССР. – М. : Наука, 1991.
3. Горелов Н.Н. Разговор с компьютером. Психолингвистический аспект проблемы. – М. : Наука, 1987. – 136 с.
4. Человеческие способности машин : сб. статей. – М. : Сов. радио, 1971.
5. Данилова Н.Н. Физиология высшей нервной деятельности / Н.Н. Данилова, А.Л. Крылова. – М. : Изд-во МГУ, 1989.
6. Ященко В.А. Рецепторно-эффекторные нейроподобные растущие сети – эффективное средство моделирования интеллекта. I / В.А. Ященко // Кибернетика и системный анализ. – 1995. – № 4. – С. 54-62.
7. Ященко В.А. Рецепторно-эффекторные нейроподобные растущие сети – эффективное средство моделирования интеллекта. II / В.А. Ященко // Кибернетика и системный анализ. – 1995. – № 5. – С. 94-102.
8. Yashchenko V.A. Receptor-effector neural-like growing network – an efficient tool for building intelligence systems / V.A. Yashchenko // Proceedings of the second internatiional conference on information fusion, July 6-8, 1999, Sunnyvale Hilton Inn, Sunnyvale, California, USA. – Vol. II. – P. 1113-1118.
9. Морозов В.К. Основы теории информационных сетей / В.К. Морозов, А.В. Долганов. – М. : Высшая школа, 1987. – 270 с.
10. Ященко В.А. Базові операції побудови нейроподібних мереж, що ростуть / В.А. Ященко // Вісник Київського університету ім. Т. Шевченка. – 1998. – Вип. 4. – С. 232-236.

А.І. Шевченко, В.О. Ященко

Від штучного інтелекту до штучної особистості

У статті розглядаються деякі питання реалізації штучної остобистості на базі нового типу нейронних мереж – зростаючих нейроподібних мереж. На прикладі розпізнавання зображень облич людей показана можливість розробки штучної особистості здатної навчатися, набувати інформацію, аналізувати і використовувати її.

A.I. Shevcytnko, V.A. Yashchenko

From Artificial Intelligence to an Artificial Person

In clause is considered (examined) some questions of realization of the artificial person on the basis of a new type neural of networks – growing neural of networks. On an example of recognition of the images of the persons of the man the opportunity of development of the artificial person capable is shown to be trained, to get the information, to analyze and to use it.

Статья поступила в редакцию 21.04.2009.